

Fazi-merna metodologija za procenu uticaja elektromagnetnih polja na zdravlje ljudi

I. AUTORI REŠENJA:	<p>Dr Saša D. Milić, viši naučni saradnik s-milic@ieent.org</p> <p>Dr Đorđe M. Stojić, naučni saradnik djordje.stojic@ieent.org</p> <p>Dr Branislav D. Vulević, naučni saradnik banevul@gmail.com</p>
II. NAZIV TEHNIČKOG REŠENJA:	Fazi-merna metodologija za procenu uticaja elektromagnetnog zračenja na zdravlje
KATEGORIJA TEHNIČKOG REŠENJA:	Bitno poboljšano tehničko rešenje na nacionalnom nivou (M84)
III. KLJUČNE REČI:	Višeparametarski sistem daljinskog nadzora, digitalni radio modem, jačina električnog polja, izlaganje ljudi elektromagnetnim poljima
IV. ZA KOGA JE TEHNIČKO REŠENJE RAĐENO:	<ol style="list-style-type: none">1. Dokaz o primenjivosti tehničkog rešenja – rad kategorije M23 u kome je opisano tehničko rešenje.2. Rešenje zadovolja kriterijum otvorenog izvora - fajlovi dostupni na sajtu https://github.com/ i na sajtu Elektrotehničkog instituta Nikola Tesla www.ieent.org
V. GODINA KADA JE REŠENJE KOMPLETIRANO:	2019. godina
VI. GODINA KADA JE REŠENJE POČELO DA SE PRIMENJUJE I KOD KOGA:	2019. godina
VII. OBLAST I NAUČNA DISCIPLINA NA KOJU SE REŠENJE ODNOSI:	Tehničko-tehnološke nauke, Telekomunikacije
<u>NAPOMENA:</u>	Tehničko rešenje je nastalo u okviru projekta TR 33024, „Povećanje energetske efikasnosti, pouzdanosti i raspoloživosti elektrana EPS-a utvrđivanjem pogonskih dijagrama generatora i primenom novih metoda ispitivanja i daljinskog nadzora”, koji je finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

VIII. PROBLEM KOJI SE REŠAVA TEHNIČKIM REŠENJEM

Veštačka električna, magnetna i elektromagnetna (EM) polja su današnja realnost u našem okruženju. Za područja visokih frekvencija (do 300 GHz) i radiofrekvencije (RF) glavni izvori EM zračenja su radio i TV odašiljači i mobilni komunikacioni uređaji, koji su sastavni deo urbanih (gradskih) i ruralnih sredina. Izloženost ljudi EM poljima izaziva veliku zabrinutost u današnje vreme. Razne epidemiološke studije sugerišu da EM zračenje, kroz gotovo ceo frekvencijski spektar (0 Hz – 300 GHz), može biti faktor rizika sa zdravstvenog stanovišta, uključujući kancer i neurodegenerativne bolesti [1].

Tehničko rešenje se zasniva fazi-mernoj metodologiji za rešavanje problema procene uticaja elektromagnetnih (EM) polja na zdravlje ljudi koji se nalaze u blizini izvora nejonizujućih zračenja. U osnovi ove metodologije je fazi-merni algoritam [2], koji na osnovu većeg broja ulaznih parametara daje procenu uticaja i predlog rešenja, odnosno procenu potrebe za primenom zaštitnih mera. Metodologija se zasniva na primeni fazi logike u procesu donošenja odluka uzimajući u obzir izmerene vrednosti EM polja, postojeće standarde i regulative, a umanjuje subjektivnost stručnih lica i korisnika pri oceni njegovog uticaja na ljudsko zdravlje na osnovu najnovijih dostupnih naučnih podataka i predloženih mera zaštite. U užem smislu, algoritam merenja i fazi donošenja odluka, na kome je bazirana metodologija, je univerzalnog tipa jer je podjednako uspešno primenjiv u celom opsegu učestanosti izvora EM zračenja od 0 Hz do 300 GHz i pri svim snagama predajnika.

IX. STANJE REŠENOSTI OPISANOG PROBLEMA U SVETU

Prvo treba istaći da je ovo tehničko rešenje jedinstveno sa aspekta metodologije koja, pored novorazvijenog fazi-mernog algoritma, uzima u obzir izbor standarda i pravilnika, definisanje redosleda procedura i postupaka novorazvijenog fazi-mernog algoritma. Sam algoritam pojednostavljuje i automatizuje ocenu uticaja EM polja na ljudski organizam, a takođe ne zavisi od potencijalne subjektivnosti korisnika ili stručnjaka pri donošenju, kako ocene njegovog uticaja na ljudsko zdravlje na osnovu najnovijih dostupnih naučnih podataka, tako i izbora mera zaštite. S obzirom na složenost i multidisciplinarnost tehničkog rešenja, stanje rešenosti opisanog problema u svetu treba posmatrati iz dva aspekta. Prvi aspekt se odnosi na proces donošenja odluka primenom teorije fazi logike [2]. Drugi aspekt se odnosi na svetske trendove u rešavanju problema uticaja EM polja na zdravlje ljudi i na tekuće standarde koji tretiraju ovu oblast [2].

A. Fazi logika u procesu donošenja odluka

U literaturi je moguće pronaći različite algoritme vezane za procese donošenja odluka uz pomoć fazi logike. Međutim, do sad nisu razvijeni sveobuhvatni algoritmi koji bi uključivali postupke merenja i standarde koji se odnose na uticaj zračenja na ljude. U osnovi predložene metodologije je fazi-merni algoritam koji se bazira na fazi logici i merenju EM polja. Fazi logika je logika koja pokušava da bude što bliža ljudskom razmišljanju i percepciji. Temelji se na pretpostavci da ljudi ne razmišljaju u strogo definisanim okvirima (da/ne), već razlikuju niz nejasnih, odnosno među vrednosti koje bi se mogle lingvistički opisati sa: radije da, mnogo da, možda ne, i da i ne itd. Zato je primena fazi logike u procesu donošenja odluka značajna jer omogućava rad sa nejasnim konceptima i granicama, nedovoljnim brojem podataka i odlukama koje u sebi sadrže stepene istine i tačnosti. Fazi skupovi i fazi logika su razvijeni sa ciljem da omoguće matematičku formulaciju lingvističkih formi [3, 4]. Upravo na ovome se i zasniva primena ove teorije u procesu donošenja odluka. Fazi-merni algoritam za donošenja odluka, kao osnova predložene metodologije, je realizovan na bazi tri osnovna koraka koji su poznati u svetskoj praksi. Ti koraci su: definisanje skupa više opcija, vrednovanje (ponderisanje) opcija i komparativna analiza ponuđenih rešenja. Važno je istaći da ovaj algoritam uzima u obzir veći broj ulaznih parametara, a kao rezultat može da da više izlaznih veličina.

B. Standardi za definisanje bezbednosti u pogledu izloženosti ljudi EM poljima

Problem izloženosti ljudskog organizma EM poljima je jedna od aktuelnih tema na svetskom nivou. Usled svakodnevnog rasta i širenja telekomunikacionih sistema (javne mobilne telefonije, TV predajnika, mobilnih i stacionarnih radio stanica, različitih specijalizovanih radio uređaja za digitalni prenos podataka, GPS i GPSR sistema, bežičnog interneta i dr.) raste i zabrinutost, kako građana, tako i profesionalnih korisnika, koja posledično uslovljava različita istraživanja i ispitivanja potencijalnih neželjenih efekata na ljudski organizam. Na pragu smo uvođenja najnovije 5G tehnologije koja će svakako doprineti promenama u našem elektromagnetnom okruženju. U kojoj meri će se nova tehnologija odraziti na zdravlje ljudi – pokazaće vreme.

Zahvaljujući ubrzanom razvoju novih tehnologija, mernih uređaja i njihovog povezivanja u merne sisteme, poslednje dve dekade karakteriše pojava različitih pristupa merenjima u oblasti EM polja. Stanje rešenosti opisanog problema u svetu se ogleda u više trenutno aktuelnih svetskih standarda.

1) Nacionalni standardi ANSI i IEEE

Ranije je komitet C95.1 pri ANSI je bio zadužen za definisanje nivoa bezbednosti u pogledu izloženosti ljudi radiofrekvencijskim elektromagnetnim poljima od 3 KHz do 300 GHz. Kasnije ovaj komitet nastavlja da deluje po istim principima ali pod IEEE asocijacijom za standardizaciju [5].

2) Međunarodne organizacije ICNIRP i IRPA

Nezavisna međunarodna organizacija (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection - ICNIRP) je donela preporuku [6] koja za svoj cilj ima utvrđivanje smernica za ograničavanje izloženosti ljudskog organizma elektromagnetnim poljima uzimajući u obzir njihov potencijalno štetan uticaj na zdravlje. Više od 50 zemalja, poput Evropske unije, je usvojilo smernice ICNIRP-a i pretvorile ih u svoj regulatorni okvir za zaštitu građanstva i radnika od utvrđenih štetnih uticaja na zdravlje prouzrokovanih izlaganjem nejonizujućem zračenju. ICNIRP je povezana sa međunarodnom organizacijom za zaštitu od zračenja IRPA (International Radiation Protection Association – IRPA). IRPA je nevladina asocijacija profesionalnih udruženja zaduženih za zaštitu od jonizujućih i nejonizujućih zračenja.

3) Evropski naučni komiteti za javno zdravlje i zaštitu životne sredine SCENIHR i SCHEER

Evropski komitet za javno zdravlje (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks – SCENIHR) je naučni komitet Evropske Unije zadužen praćenje pojave i prepoznavanja novih vrsta zdravstvenih rizika [7]. Tokom 2016. godine, Naučni komitet za zdravstvene, ekološke i nove rizike (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks - SCHEER) je nasledio SCENIHR.

4) Evropski komitet za standardizaciju u elektrotehnici CENELEC i pravilnik RS

CENELEC je evropski komitet zadužen za standardizaciju u elektrotehnici. CENELEC omogućava pristup tržištu na evropskom, ali i na širem međunarodnom nivou, usvajajući međunarodne standarde gde god je to moguće, u saradnji sa Međunarodnom elektrotehničkom komisijom (International Electrotechnical Commission - IEC). Osnovni evropski standard, koji daje smernice za merenja i proračun elektromagnetnih polja (0Hz – 300 GHz) jeste standard CENELEC EN 50413 [8]. Pravilnikom [9] su uvedene regulative u Republici Srbiji koje definišu dozvoljene granične vrednosti izlaganja ljudskog organizma EM poljima u delu nejonizujućeg zračenja.

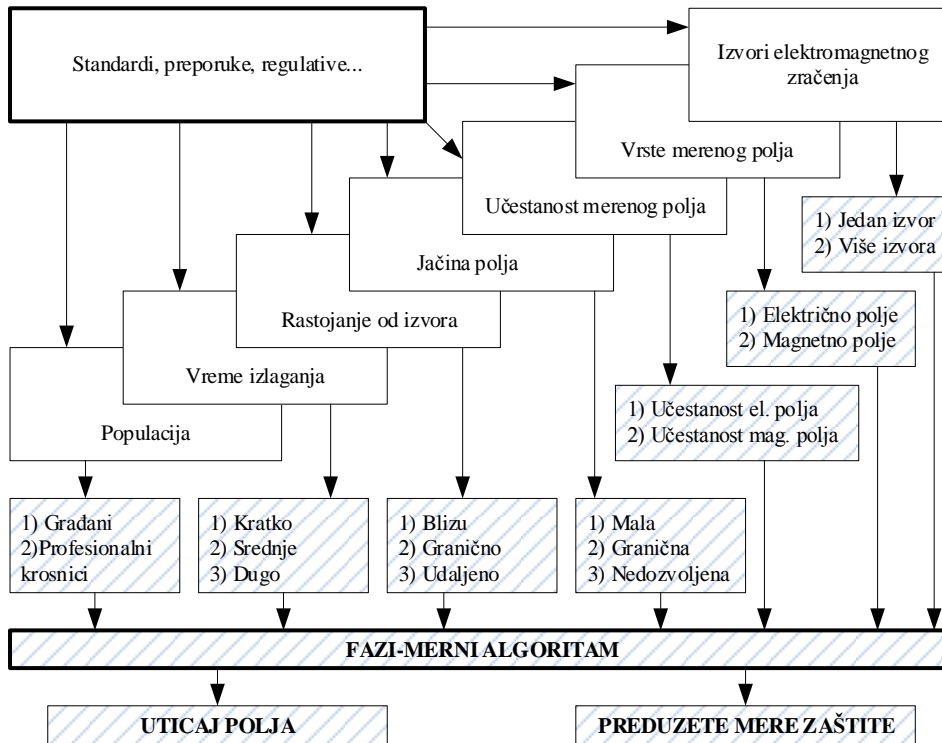
X. OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

Električna i magnetna polja se karakterišu prema nizu parametara kao što su amplituda, frekvencija, polarizacija itd. Tehničko rešenje se zasniva na metodologiji koja za cilj ima objedinjavanje standarda, preporuka i procedura [5-9] i koja, kroz novorazvijeni fazi merni-algoritam, automatizuje merenja EM polja u opsegu od 0 Hz do 300GHz sa ciljem davanja ocene njegovog uticaja na ljudsko zdravlje i određivanja nivoa potrebe za primenom neke od definisanih mera zaštite.

A. Definisanje merne procedure

Predloženo tehničko rešenje, odnosno metodologija, je vizuelno interpretirana na slikama 1 i 2. Slika 1 predstavlja blok dijagram celokupnog, hijerarhijski definisanog, niza koraka koji karakteriše sve merene veličine, merne postupke i procedure. Početni korak predstavlja definisanje vrste i broja izvora EM zračenja. Ovaj korak je važan iz dva razloga: kako bi se odredio opseg frekvencije koji će se meriti, kao i nivo uticaja pojedinih izvora, ako je uključeno više izvora. Sledeći korak definiše vrstu polja koja će se meriti na odabranom mestu - električno, magnetno ili oboje, zavisno od zahteva i tehničkih mogućnosti merne opreme. Važno je definisati frekvenciju izmerenog polja, jer će polja iste snage, ali sa različitim frekvencijama, različito uticati na zdravlje ljudi i zahtevaće različite mere zaštite. Razmak između lokacije za merenje i identifikovanog i definisanog izvora zračenja je važan, jer se preporuke u pogledu smanjenja štetnih efekata često zasnivaju na povećanju udaljenosti od izvora. Nažalost, to je često neizvodljivo, posebno kada su u pitanju industrijske instalacije i objekti, stambeni objekti ili druge fiksne lokacije i kada povećanje udaljenosti od izvora EM zračenja nije opcija. Vreme izlaganja je još jedan faktor od ključnog značaja za procenu ugroženosti i važan je element u uspostavljanju fazi pravila u fazi logičkom delu algoritma (slika 2). Završni korak hijerarhijskog sleda aktivnosti je definisanje populacije koja je izložena emisiji. Upravo se u ovom koraku odražava opštost, kao odlična osobina, tehničkog rešenja, tj. same metodologije, jer prilagođava upotrebnosti aspekt fazi-mernog algoritma, pa tako npr. ako se algoritam primenjuje za procenu uticaja EM zračenja u urbanim gradskim sredinama, tada treba uzimati starosne dobi građana koji su potencijalno izloženi EM polju, što se pak ne radi u slučaju procene uticaja EM polja na profesionalne korisnike. U slučaju primene algoritma na procenu izloženosti profesionalnih lica EM zračenju, treba uzeti u obzir parametre koji definišu tu profesiju i standardnu zaštitnu opremu koju ta lica nose i sl. Ceo ovaj niz koraka je dat u blok dijagramu na slici 1 i kreiran na bazi važećih standarda, predviđenih zahteva i odabrane populacije, tako da se uvek može jednostavno prilagoditi novim standardima ili izmenjenim tj. novim zahtevima.

Tehničko rešenje M84



Slika 1. Metodologija merenja i procene uticaja EM zračenja - hijerarhijski definisan niza koraka

B. Pretpostvake za formiranje mernog i fazi modela

Velike količine raspoloživih mernih metoda, postupaka i standarda kao i teorija za upravljanje, kontrolu, procenu i donošenje odluka zahtevaju dobru selekciju i uspostavljanje okvira za njihovu lakšu praktičnu primenu. Ovo tehničko rešenje je proisteklo iz potrebe za regulisanjem upravo pomenutog. Praktična primena rešenja zahteva merenje EM polja, a zatim sinergiju dobijenih rezultata sa fazi logikom u cilju jasno definisanog procesa donošenja odluke u vezi sa procenom uticaja i izborom vrste i načina zaštite od neželjenog uticaja EM zračenja na ljudski organizam.

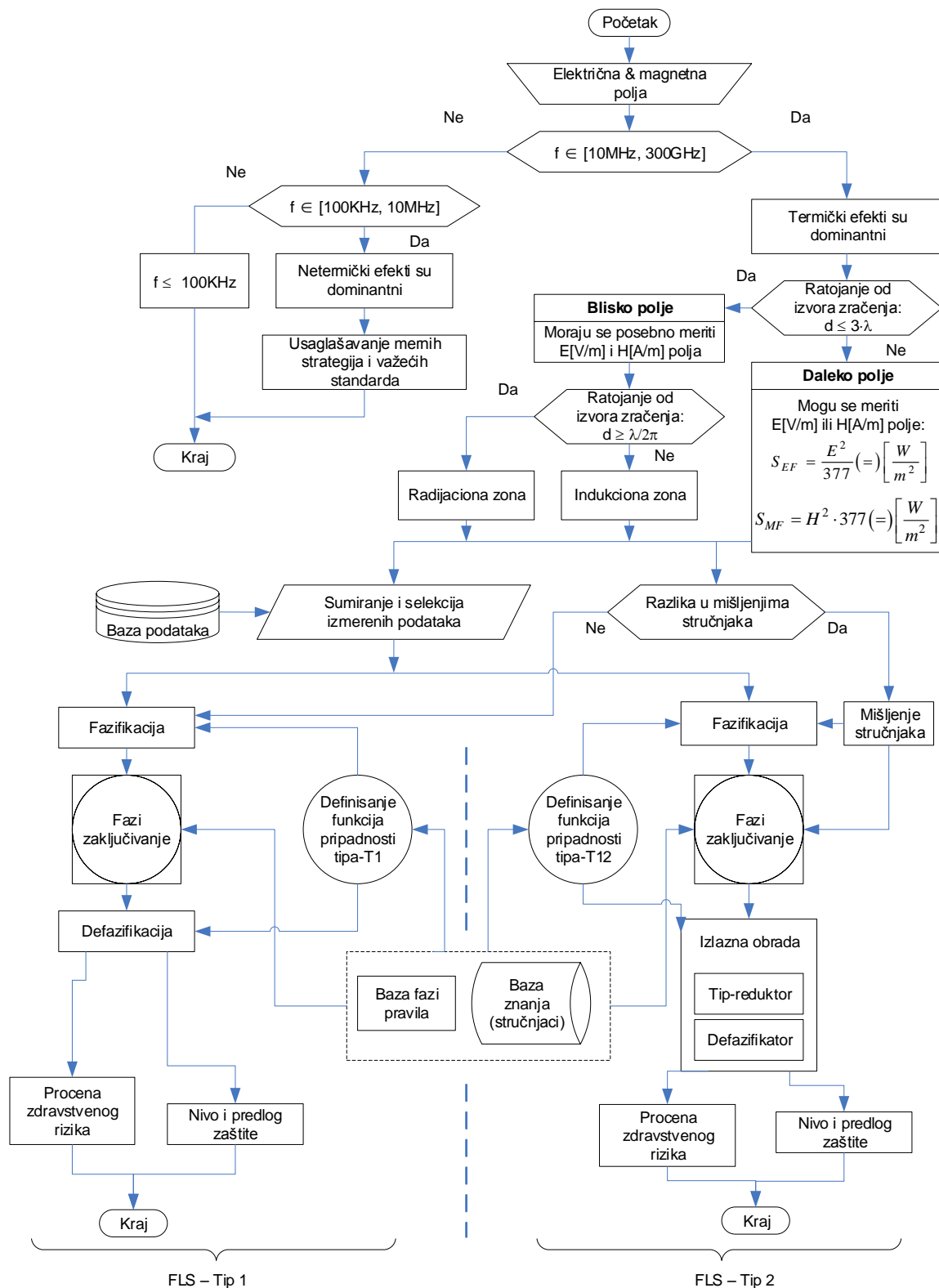
Sledeće pretpostavke korišćene su za razvoj fazi modela za automatizovano izvlačenje zaključaka koji se odnose na elektromagnetna merenja:

1. ICNIRP smernice [6] se primenjuju za ograničavanje izloženosti elektromagnetnim poljima.
2. Izmereni podaci pripadaju razmatranom frekvencijskom opsegu.
3. Uticaj na osobe iz određenih kategorija.
4. Izlazne vrednosti predstavljenog algoritma su nivoi uticaja na zdravlje, kao i nivo potrebe i vrsta zaštite.

C. Fazi-merni algoritam

Fazi-merni algoritam (Slika 2) se sastoji od dva glavna dela, mernog i fazi. Sinteza ovih delova daje nov kvalitet i definiše automatizovan postupak donošenja odluka u vezi sa ocenom uticaja EM polja i ocenom potrebe za primenom neke od poznatih mera zaštite.

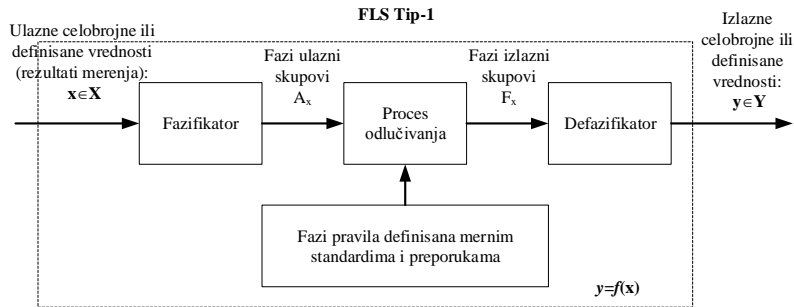
Tehničko rešenje M84



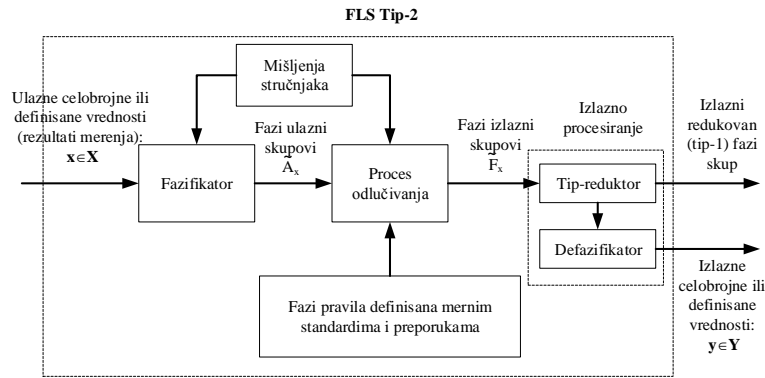
Slika 2. Fazi-merni algoritam

Tehničko rešenje M84

Osnovni kvalitet tehničkog rešenja se ogleda u njegovoj generalizaciji sa aspekta pokrivenosti celog dijapazona učestanosti i snaga izvora EM zračenja. Dodatni kvalitet predstavljaju činjenice da su, zahvaljujući primeni fazi logike, pored automatizacije postupka donošenja odluka, potpuno eliminisane neželjene posledice subjektivnih procena (različiti stavovi i mišljenja stručnjaka) i mogućnost implementacije različitih standarda (različitih graničnih vrednosti i predloženih mera zaštite). Da bi se ovo postiglo, u algoritam su inkorporirane procedure zasnovane na dva tipa fazi logičkih sistema (FLS-T1 i FLS-2) datih na slikama 3 i 4.



Slika 3. Fazi logički sistem tip-1 (FLS-T1)



Slika 4. Fazi logički sistem tip-2 (FLS-T2)

D. Validacija fazi-mernog algoritma

Fazi modelovanje nelinearnih sistema i procesa se postiže upotrebom linearnih lokalnih modela i jednostavnih težinskih funkcija. Validacija fazi-mernog algoritma je izvršena upotrebom nekoliko fazi modela (razvijenih u MATLAB-u) za univerzalni mobilni telekomunikacioni sistem (UMTS) - 2GHz. Konačno donošenje odluka je izlazni rezultat dobijen primenom fazi-mernog algoritma (slika 4) i složenih *ako-onda* (if-then) pravila.

U modelovanju smo koristili dve forme fazi brojeva. trougao (1) i trapez (2):

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{c-a}, & a \leq x < c \\ \frac{e-x}{e-c}, & c \leq x \leq e \\ 0, & x > e \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x < d \\ \frac{e-x}{e-d}, & d \leq x \leq e \\ 0, & x > e \end{cases} \quad (2)$$

Tehničko rešenje M84

Ako koristimo samo rezultate merenja EM-a polja u proceni uticaja na ljudsko zdravlje, za modelovanje je dovoljno primeniti koncepciju fazi logičkih sistema FLS-T1. Za validaciju fazi-merne metodologije, kao ulazni parametri u fazi-merni algoritam su korišćeni (Tabela 1):

- | | |
|--|---------------------|
| 1. Jačina električnog polja: | E-field [V/m] |
| 2. Vreme izlaganja električnom polju: | Exposure time [min] |
| 3. Godine starosti osobe izložene E polju: | Age [year]. |

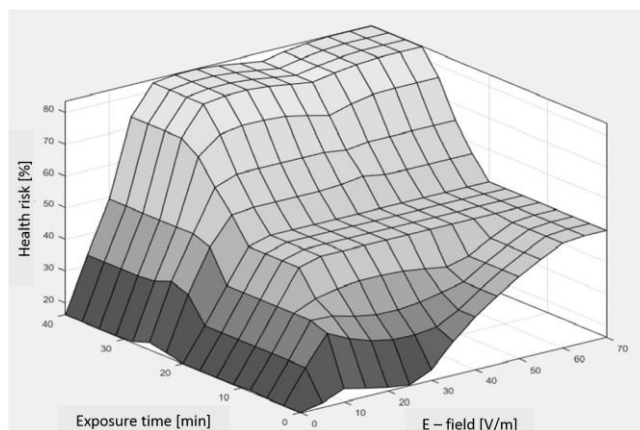
Izlazni parametri su:

- | | |
|-------------------------|--|
| 1. Nivo rizika: | Health risk [%] |
| 2. Potreba za zaštitom: | Protection need [r.u. – relative unit] |

Tabela 1. Funkcije pripadnosti za FLS-T1

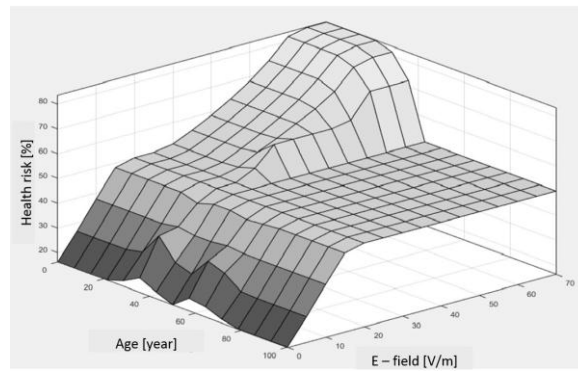
Funkcije pripadnosti (ulazi & izlazi)	Grupa/ Klasa	Fazi intervali: trougao {a; c; e} trapez {a; b; d; e}
Električno polje (ulaz) [V/m]	Nisko	[0; 0; 16]
	Srednje	[0; 28; 61]
	Visoko	[28; 61; 70; 70]
Vreme izlaganja (ulaz) [minut]	Kratko	[0; 0; 6; 10]
	Srednje	[0; 10; 20; 30]
	Dugo	[20; 30; 40; 40]
Starosna dob (ulaz) [year]	Mladi	[0; 0; 20; 40]
	Srednji	[35; 50; 60]
	Stari	[55; 80; 100; 100]
Rizik po zdravlje (izlaz) [%]	Nizak	[0; 0; 50]
	Srednji	[20; 40; 60; 80]
	Visok	[50; 100; 100]
Zaštita (izlaz) [r.u. - relative unit]	Ne	[0; 0; 0.2; 0.5]
	Dodatna analiza	[0.3; 0.4; 0.6; 0.7]
	Da	[0.5; 0.8; 1; 1]

Funkcionalne zavisnosti, kao rezultat FLS-T1 fazi modelovanja, odnosno kao rezultat procesa donošenja odluka primenom fazi-mernog algoritma su grafički prikazane na sledećim slikama (Slike 5-8).

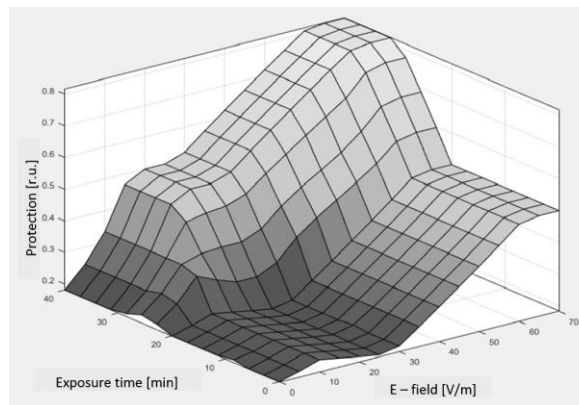


Slika 5. Rizik po zdravlje (Health risk) u funkciji vremena izlaganja (Exposure time) i električnog polja (E - field)

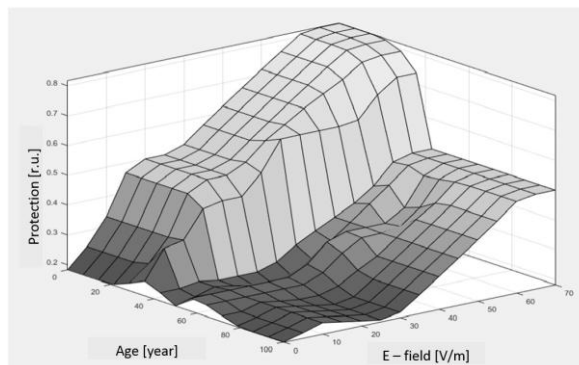
Tehničko rešenje M84



Slika 6. Rizik po zdravlje (Health risk) u funkciji godišta izloženog subjekta (Age) i električnog polja (E - field)



Slika 7. Potreba za zaštitom (Protection) u funkciji vremena izlaganja (Exposure time) i električnog polja (E - field)



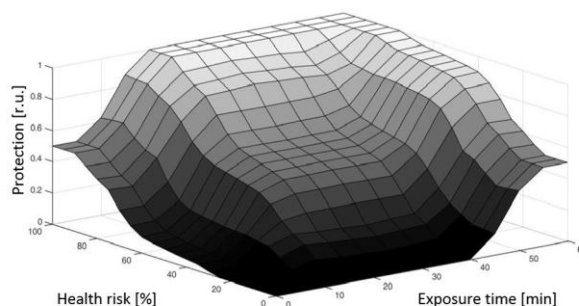
Slika 8. Potreba za zaštitom (Protection) u funkciji godišta izloženog subjekta (Age) i električnog polja (E - field)

Kao što je ranije naglašeno, u praksi postoje najmanje dva razloga za upotrebu fazi logičkih sistema tip-2 (FLS-T2) pri fazi modelovanju procesa donošenja odluka. Prvi razlog se odnosi na različita mišljenja stručnjaka o zdravstvenim rizicima, a drugi se odnosi na moguću nepouzdanost u proceni vremena izloženosti EM polju. U tabeli 2 su date realne izmerene veličine, ali sa različitim mišljenjima stručnjaka i različitim vremenima izloženosti polju.

Tabela 2. Funkcije pripadnosti za FLS-T2 (Fazi skup tip-2)

Funkcije pripadnosti (ulazi & izlazi)	Grupa/ Klasa	Fazi intervali: trougao {a; c; e; μ } trapez {a; b; d; e; μ }
Vreme izlaganja (ulaz) [minut]	Kratko	[0; 0; 20; 1] [0; 0; 15; 0.8]
	Srednje	[5; 25; 35; 55; 1] [10; 28; 32; 50; 0.8]
	Dugo	[40; 60; 60; 1] [45; 60; 60; 0.8]
	Nizak	[0; 0; 6; 73; 1] [0; 0; 38; 1]
Rizik po zdravlje (izlaz) [%]	Srednji	[12; 38; 63; 89; 1] [25; 42; 58; 75; 1]
	Visok	[28; 95; 105; 105; 1] [62; 100; 100; 1]
	Ne	[0]
Zaštita (izlaz)	Dodatna analiza	[0.5]
	Da	[1]

Na slici 9 je prikazan rezultat primene FLS-T2 kada ulazni parametri sadrže nesigurnosti koje proizlaze iz neslaganja stručnjaka oko procene zdravstvenog rizika i procene opasnosti u odnosu na vreme izloženosti EM polju.



Slika 9. Potreba za zaštitom (Protection) u funkciji rizika po zdravlje (Health risk) i vremena izloženosti polju (Exposure time)

ZAKLJUČAK

Tehničko rešenje “Fazi-merna metodologija za procenu uticaja elektromagnetnog zračenja na zdravlje ljudi” je realizovano na bazi hijerarhijski definisanog, niza koraka koji karakteriše sve merene veličine, merne postupke i procedure. Praktična primena rešenja zahteva merenje EM polja, a zatim analizu dobijenih rezultata primenom fazi logike u cilju jasnog donošenja odluke u vezi sa procenom uticaja i procenom potrebe za primenom zaštitnih mera. U osnovi tehničkog rešenja je fazi–merni algoritam koji služi za automatizaciju procesa donošenja odluka u vezi sa ocenom uticaja EM polja i procenom nivoa potrebe za primenom neke od zaštitnih mera definisanih primenjenim standardom i/ili preporukom. Fazi deo algoritma je razvijen na bazi dva fazi logička sistema FLS-T1 i FLS-T2 u zavisnosti od definisanih uslova koji su relevantni za mernu metodologiju. Jedna od osnovnih prednosti tehničkog rešenja je otpornost merne metodologije na različita mišljenja stručnjaka, na mernu nesigurnost pri obradi izmerenih vrednosti, na različite granice dozvoljenog nivoa zračenja u pojedinim frekventnim opsezima i na mogućnost donošenja zaključaka na osnovu relativnog malog broja merenja.

Za validaciju tehničkog rešenja su korišćena dva fazi modela realizovana u MatLab programskom paketu. Tehničko rešenje je primenjivo na sve poznate izvore zračenja uključujući i frekventni opseg 5G mobilne mreže u svom spektru od 6 GHz do 100 GHz.

Ovim tehničkim rešenjem je realizovana osnovna ideja koja se odnosi na praktično donošenje odluka vezanih za ocenu uticaja EM polja u okolini izvora zračenja, kako na profesionalne operatore, tako i na stanovništvo i procenu potrebe za primenom neke od zaštitnih mera definisanih nekim od navedenih standarda.

LITERATURA

- [1] IARC. *Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Field*, Vol. 102 (2013).
- [2] Saša D. Milić, Branislav D. Vulević, Djordje M. Stojić: "A Fuzzy-Measurement Algorithm for Assessing the Impact of Electromagnetic Fields on Health", *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 2019, Vol. 34, No. 2, pp. 129-137.
- [3] Lotfi A. Zadeh: *Fuzzy Sets, Information and Control*, (1965), pp. 338-353.
- [4] J. M. Mendel, H. Hagsras, W. W. Tan, W. W. Melek, H. Ying, *Introduction to Type-2 Fuzzy Logic Control - Theory and Applications*, ISBN 978-1-118-27839-0, IEEE and John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, (2014).
- [5] IEEE C95.1. Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, February 2, 2010.
- [6] ICNIRP. *Guidelines for Limiting Exposure to time – varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)*, ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, Vol. 74 (4), (1998), pp. 494-522.
- [7] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR, *Health Effects of Exposure to EMF*, available online: http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_022.pdf
- [8] CENELEC. *Basic Standard on Measurement and Calculation Procedures for Human Exposure to Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (0 Hz–300 GHz)*. European Standard EN 50413:2008. European Committee for Electrotechnical Standardization (2008).
- [9] Pravilnik Ministarstva životne sredine i prostornog planiranja Republike Srbije, "Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima", Službeni glasnik RS, broj 36/09, 2009.

XI. TEHNIČKA DOKUMENTACIJA

1. Dokaz o primenljivosti tehničkog rešenja – rad kategorije M23 u kome je opisano tehničko rešenje:

Saša D. Milić, Branislav D. Vulević, Djordje M. Stojić: "A Fuzzy-Measurement Algorithm for Assessing the Impact of Electromagnetic Fields on Health", Nuclear Technology and Radiation Protection, 2019, Vol. 34, No. 2, pp. 129-137.

Rešenje zadovolja kriterijum otvorenog izvora - fajlovi dostupni na sajtu <https://github.com/> i na sajtu Elektrotehničkog instituta Nikola Tesla www.ieent.org

FLS-T1.fis
FLS-T2.t2fis

2. Lista ranije prihvaćenih tehničkih rešenja za svakog od autora pojedinačno:

Dr Saša D. Milić, viši naučni saradnik:

- [M81] Saša Milić, Aleksandar Žigić, Nikola Miladinović: „Sistem daljinskog nadzora temperature polova rotora hidrogeneratora“, Tehničko rešenje sa dokumentacijom: opis rešenja, potvrda korisnika sa brojem realizovanog ugovora, dve recenzije (jedan međunarodni recenzent), dokaz o međunarodnom priznanju rešenja – publikovanje rešenja u časopisu kategorije M21, mišljenje stručnog tela.
- [M82] Saša Milić, Aleksandar Žigić, Jelena Lukić: „Uređaj nove generacije za merenje i regulaciju temperature uzoraka u procesu ubrzanog starenja transformatorskog ulja“, Tehničko rešenje sa dokumentacijom: opis rešenja, međunarodna potvrda o prihvatanju rešenja u vidu *case study* od strane kompanije *National Instruments* objavljeno na sajtu kompanije: <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-14535>, mišljenje stručnog tela.
- [M82] Saša Milić, Dejan Misović: „Laserski sistem daljinskog nadzora i detekcije plovila u brodskoj prevodnici“, Tehničko rešenje sa dokumentacijom: opis rešenja, dva potvrde korisnika vezane za dva realizovana ugovora, dve recenzije, mišljenje stručnog tela.
- [M82] Aleksandar Nikolić, Aleksandar Žigić, Saša Milić, Dragan Kovačević: „Sistem za on-line monitoring termoslike blok transformatora“, Tehničko rešenje sa dokumentacijom: opis rešenja, potvrda korisnika sa brojem realizovanog ugovora, dve recenzije, mišljenje stručnog tela.
- [M82] Jelena Lukić, Aleksandar Nikolić, Branka Bošković, Saša Milić, Dragan Kovačević, Nidžo Miladinović: „Sistem za on-line monitoring gasova u ulju transformatora“, Tehničko rešenje sa dokumentacijom: opis rešenja, dve potvrde korisnika sa brojevima realizovanih ugovora, dve recenzije, mišljenje stručnog tela.
- [M82] Saša Milić, Aleksandar Žigić, Dejan Misović, Nikola Miladinović: „Uređaj za merenje parametara železničkih kola u pokretu“, Tehničko rešenje sa dokumentacijom: opis rešenja, dva potvrde korisnika vezane za dva realizovana ugovora, dve recenzije, mišljenje stručnog tela.
- [M82] S. Milić, N. Miladinović, D. Misović, „Komunikaciono – alarmno mesto monitoring sistema za merenje temperature osovinskih ležajeva železničkih kola u pokretu“, Tehničko rešenje kategorije M82, tehničko rešenje dostupno na sajtu: www.ieent.org, <http://www.ieent.org/prototip/datoteke/20182/2302181211441900.pdf>, 2017.

Dr Đorđe M. Stojić, naučni saradnik:

- [M81] Đorđe Stojić, Milan Milinković, Slavko Veinović, Dušan Joksimović, Nemanja Milojčić, Ilija Klasnić, Dušan Arnautović, “Regulator pobude DARP-10 kućnog agregata u HE “Međuvršje””, Tehničko rešenje kategorije M81
- [M81] Дане Џепчески, Владимир Станојичић, Јелена Павловић, Ђорђе Стојић, Душан Арнаутовић, Слободан Богдановић, “Електрични део турбинског регулатора хидрауличних турбина, дигитални турбински регулатор типа ДТР300-100”, Техничко решење категорије М81
- [M82] Zoran Ćirić, Đorđe Stojić, Dušan Joksimović, Slavko Veinović, Milan Milinković, Nemanja Milojčić, „Regulator pobude sa poboljšanim algoritmima limitera pobude agregata B2 u TE “Nikola Tesla B” “, Tehničko rešenje kategorije M82
- [M84] Đorđe Stojic, Milan Milinkovic, Slavko Veinovic, Dušan Joksimovic, Nemanja Milojcic, Ilija Klasnic, Dušan Arnautovic, “Regulator pobude DARP-20 agregata A1 i A2 u TE “Kolubara A””, Tehničko rešenje kategorije M84

Dr Branislav D. Vulević, naučni saradnik:

- [M85] D. M. Dramlić, P. Milutinović, Z. Velikić, S. Dramlić, B. Vulević, “Uređaj za merenje vlažnosti pepela”, TEKON Tehnokonsalting D.o.o., 2009.
- [M85] D. Joksimović, B. Vulević, P. Milutinović, D. Dramlić, Z. Velikić, S. Dramlić, “Softver za automatski akvizicioni podsistem za merenje meteoroloških podataka”, TEKON Tehnokonsalting D.o.o., 2009.
- [M85] B. Vulević, P. Milutinović, D. Dramlić, D. Joksimović, S. Dramlić, “Softver za uređaj koji upravlja izvršnim elementima sistema”, TEKON Tehnokonsalting D.o.o., 2009.
- [M85] B. Vulević, D. Joksimović, D. Dramlić, Z. Velikić, P. Milutinović, S. Dramlić, “Softver za automatski akvizicioni podsistem za merenje vlažnosti pepela”, TEKON Tehnokonsalting D.o.o., 2009.
- [M85] P. Milutinović, Z. Gršić, B. Vulević, D. Dramlić, “Softver za procenu rasprostiranja pepela kroz atmosferu u realnom vremenu”, TEKON Tehnokonsalting D.o.o., 2010.